

بررسی همدیدی و شبیه سازی توفان خاک استان خوزستان در بهمن ماه سال ۱۳۹۵

سارا کرمی^۱، نسیم حسین حمزه^{۲*}، عباس رنجبر^۲، معصومه موسوی^۱

^۱ گروه شیمی جو و آلودگی هوا، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران

^۲ دانشکده محیط زیست، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۱۰ ، تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۷

چکیده

هر ساله وقوع رخداد های گرد و خاک ساکنان بخش های وسیعی از کشور از جمله استان خوزستان را با مشکلات جدی مواجه می کند. در روز های ۷ تا ۱۰ بهمن ماه سال ۱۳۹۵، وقوع هم زمان پدیده گرد و خاک و بارش باران در شهر اهواز منجر به قطع برق و به دنبال آن آب در این شهر به مدت دو شبانه روز و لغو پرواز هواپیماها گردید. بررسی نقشه های همدیدی نشان می دهد در نقشه فشار سطح زمین، کل منطقه تحت تأثیر یک سامانه کم فشار دینامیکی قرار دارد. چرخش خطوط هم فشار، تغییر جهت باد و وجود کزفشاری در منطقه از علائم وجود جبهه است. اجرای مدل HYSPLIT در تراز ۵۰۰ متر به خوبی مرز جبهه سرد و تغییر جهت باد در منطقه را نمایش می دهد. مقادیر کد هوای حاضر ایستگاه همدیدی اهواز بیانگر وقوع توفان، پدیده گرد و خاک محلی و غیر محلی و بارش باران در این دوره بوده و کمترین میزان دید افقی برابر ۱۰۰ متر گزارش شده است. شبیه سازی این رخداد گرد و خاک با مدل WRF-Chem نشان داد که مدل، گسیل گرد و خاک از عراق و جنوب خوزستان را به خوبی نشان داده و بار گرد و خاک خروجی مدل با تصاویر ماهواره ای در توافقی است. با مقایسه کمی غلظت PM10 خروجی مدل با مقادیر مشاهداتی می توان نتیجه گیری کرد که مدل در شبیه سازی غلظت ذرات PM10 عملکرد قابل قبولی دارد. مدل در شبیه سازی جهت باد و بارش، عملکرد بهتری دارد و الگوی بارش و میزان آن در شهر های مختلف را به خوبی نشان داده است. همچنین وجود جبهه و تغییر جهت ناگهانی باد توسط مدل شناسایی شده است.

کلمات کلیدی: پدیده گرد و خاک، اهواز، جبهه سرد، مدل WRF-Chem، غلظت PM10

(۱۳۹۵) و حسین حمزه و همکاران (۱۳۹۵) اشاره کرد. در مطالعات زیادی از مدل لاگرانژی HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory model) برای نمایش چشمه تولیدکننده گردوخاک و نمایش مسیر حرکت ذرات گردوخاک استفاده می‌شود به عنوان نمونه محمدی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از این مدل به منشأیابی توفان خاک شهر تهران در ماه مه ۲۰۰۱ پرداختند و منشأ آن را بین عرض‌های جغرافیای ۲۵ تا ۳۷ درجه شمالی تعیین کردند که هر ۳ کشور عراق، سوریه و عربستان را شامل می‌شود. یک روش دیگر جهت بررسی گسیل، انتشار و مقادیر غلظت ذرات گردوخاک، استفاده از مدل‌های عددی کیفیت هوا است (شائو، ۲۰۰۳). مدل WRF-Chem بخشی از مدل (Weather Research and Forecasting model) WRF است که کاربرد اصلی آن بررسی شیمی جو است. از این مدل می‌توان به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی غلظت هواویزهای موجود در جو ناشی از سازوکارهای طبیعی، فعالیت‌های بشری و گردوخاک در اندازه‌های مختلف، نحوه انتشار و نهشت آنها استفاده کرد. اطلاعات کامل در ارتباط با مدل WRF-Chem در کارهای گزل و همکاران (۲۰۱۱؛ ۲۰۰۵) و فست و همکاران (۲۰۰۶) ارائه شده است.

در این مطالعه، پدیده گردوخاک ۷ تا ۱۰ بهمن ماه سال ۱۳۹۵ مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. در روز ۸ بهمن توفان خاک، مرکز استان خوزستان و برخی شهرهای اطراف را تحت تأثیر قرار داد. در این روز غلظت گردوخاک اهواز به شدت افزایش یافته و ۹ پرواز فرودگاه اهواز به دلیل شرایط نامساعد جوی و گرد و خاک شدید لغو شد. پدیده گرد و خاک این بار به طور بی‌سابقه‌ای لغو نماز جمعه را به دنبال داشت و شبکه برق و به دنبال آن شبکه آب را در شهر اهواز هدف قرار داد. از ساعات میانی روز، بخشی از اهواز در خاموشی فرو رفت و با قطع برق، پمپ‌های آب این مناطق نیز از کار افتادند تا شکل جدیدی از ابعاد گسترده بحران پدیده گردوخاک ظهور کند. در روز نهم بهمن‌ماه، قطعی گسترده برق در اهواز،

یکی از پدیده‌های مخرب زیست محیطی وقوع توفان‌های خاک^۱ است که سالانه سبب بروز خسارات مالی و جانی فراوانی می‌شود. آلودگی هوای ناشی از وقوع توفان‌های خاک باعث تهدید سلامت افراد جامعه، تهدید زندگی انسان‌ها و ضررهای اقتصادی زیادی می‌شود (هیون، ۲۰۱۱؛ میری، ۲۰۰۷). ذرات گردوخاک گاهی مسافت‌های طولانی را در جو طی کرده و مناطق تحت تأثیر آن‌ها کیلومترها با چشمه گسیل فاصله دارند (شوتز و همکاران، ۱۹۸۱). گردوخاک یکی از آلاینده‌های اصلی تأثیرگذار بر خطوط انتقال برق است (هرنانتز، ۲۰۰۶) که با نهشت بر روی تجهیزات برق در مناطق مختلف دنیا سبب بروز خسارات فراوانی می‌شوند. به منظور بررسی پدیده‌های گردوخاک روش‌های مختلفی وجود دارد، یکی از این روش‌ها، روش همدیدی است که در مطالعات بسیاری در ایران و جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. سما و همکاران (۲۰۱۵) پدیده‌های گردوخاک غرب آسیا را در فصل تابستان مورد تحلیل همدیدی قرار دادند. خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی ۵۰ ایستگاه هواشناسی در ایران و جداسازی روزهای همراه با گردوخاک در بازه زمانی ۲۰ ساله، با کمک روش PCA سامانه‌های همدیدی را به ۵ دسته خوشه‌بندی کردند. آنها نتیجه گرفتند که سامانه پرفشار آزور از طریق ایجاد کم فشارهای گرمائی سطح زمین بیشترین نقش را در پراکندگی فراوانی روزهای گردوغباری در غرب ایران دارد. رنجبر و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی پدیده گردوخاک در غرب ایران پرداخته و الگوهای همدیدی موثر در ایجاد این پدیده‌ها را در یک دوره آماری طبقه‌بندی کرده‌اند. آنها نتیجه‌گیری کردند که الگوهای جوی منجر به گردوخاک در فصول خشک و تر متفاوت است. همچنین تحقیقات زیادی در زمینه مطالعه موردی توفان‌های شدید خاک بویژه در سال‌های اخیر ارائه شده است که به بررسی این توفان‌ها از دیدگاه‌های مختلف پرداخته‌اند، که از جمله آنها می‌توان به میهن‌پرست و همکاران

۱- توفان خاک معادل واژه فرهنگستان زبان فارسی Dust storm است.

هکتوپاسکال داده‌های تحلیل (Global Forecast)GFS (System) با تفکیک افقی ۵/۰ درجه انجام می‌شود. سپس مدل HYSPLIT به صورت ماتریسی در تراز ۱۰۰ متر به منظور تعیین چشمه گسیل گردوخاک و در تراز ۵۰۰ متر برای تعیین محل جبهه سرد در منطقه اجرا می‌شود. برای اجرای مدل HYSPLIT داده‌های (GDAS Global Data Assimilation System) با تفکیک افقی نیم درجه بکار گرفته شد. به منظور بررسی بیشتر روند تغییر کمیت‌های مختلف از داده‌های دیدبانی دید افقی و بارش ۵ شهر اهواز، آبادان، کرمانشاه، ایلام و بوشهر واقع در غرب و جنوب غربی ایران استفاده گردید. داده‌های کد هوای حاضر و سمت و سرعت باد ایستگاه همدیدی شهر اهواز به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت.

مدل WRF-Chem به منظور شبیه‌سازی پدیده، بکار گرفته شد و برای شرایط اولیه و مرزی مدل از داده‌های تحلیل GFS با تفکیک افقی نیم درجه استفاده گردید. مدل بر روی سه حوزه با تفکیک افقی ۲۷، ۹ و ۳ کیلومتر اجرا شده که در شکل ۱ نشان داده شده است. در اجرای مدل از طرحواره گسیل گردوخاک GOCART استفاده گردید و طرحواره‌های فیزیک بکار رفته در این شبیه‌سازی در جدول ۱ نمایش داده شده است.

پس از اجرای مدل WRF-Chem، میزان نهشت گردوخاک در طول این رخداد ارائه گردید، سپس به منظور ارزیابی کیفی برون‌داد مدل، بار گردوخاک بزرگترین حوزه مدل با تصاویر RGB ماهواره MSG مقایسه شد و به منظور ارزیابی کمی، میزان غلظت PM_{10} کوچکترین حوزه با داده‌های مشاهداتی ایستگاه پایش آلودگی هوای سازمان

منجر به قطع آب و به دنبال آن قطعی و ایجاد اختلال در شبکه‌های ارتباطی تلفن همراه شد.

به منظور بررسی این توفان، ابتدا این پدیده از دیدگاه همدیدی مورد تحلیل قرار گرفت و داده‌های ایستگاه‌های همدیدی چند شهر واقع در غرب و جنوب غربی ایران بررسی شد، سپس با کمک تصاویر ماهواره و مدل HYSPLIT، چشمه تولیدکننده گردوخاک تعیین گردید. در آخر با استفاده از مدل WRF-Chem این پدیده توفان خاک شبیه‌سازی می‌شود. همچنین خروجی غلظت PM_{10} مدل WRF-Chem با داده‌های سازمان حفاظت محیط زیست در ۴ شهر استان خوزستان مقایسه شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

داده‌ها و روش‌ها

در این مطالعه نخست تحلیل همدیدی با استفاده از نقشه‌های سطح زمین و ترازهای ۸۵۰، ۵۰۰ و ۳۰۰



شکل ۱. حوزه‌های اجرای مدل WRF-Chem

جدول ۱. طرحواره‌های مورد استفاده در اجرای مدل WRF-Chem

WRF Single-Moment 5-class	فیزیک خردمقیاس
RRTM (Mlawer, 1997)	تابش موج بلند
Goddard shortwave (Chou, 1994)	تابش موج کوتاه
Noh Land Surface Model (Noh et al., 2003)	فیزیک سطحی
YSU	لایه مرزی
Grell 3D	همرفت کومه‌ای

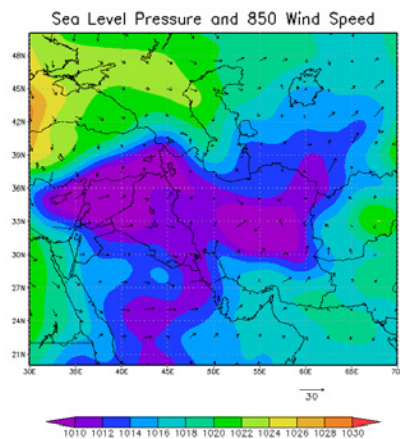


شکل ۲. نقشه شهرستانهای استان خوزستان

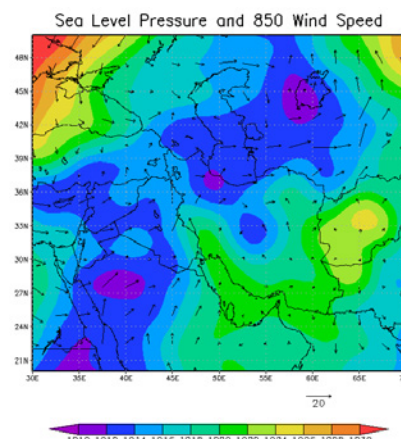
حفاظت محیط زیست در چهار شهر شادگان، بهبهان، گتوند و دزفول واقع در استان خوزستان که موقعیت آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده، مقایسه شدند. همچنین از آنجا که کمیت‌های جوی باد و بارش در شبیه‌سازی گردوخاک بسیار موثر می‌باشند، خروجی باد تراز ۱۰ متر و بارش ۶ ساعته مدل مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

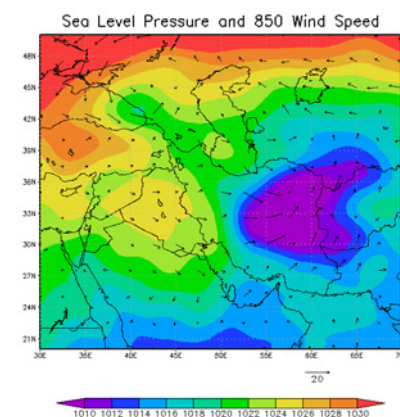
نقشه فشار سطح دریا و باد تراز ۸۵۰ hPa در روزهای ۷ تا ۱۰ بهمن ماه سال ۱۳۹۵ در شکل ۳ نشان داده شده است. در روز ۷ بهمن دو سامانه کم‌فشار یکی در شمال ایران و دیگری در شرق مدیترانه و کشور عراق مشاهده می‌شود.



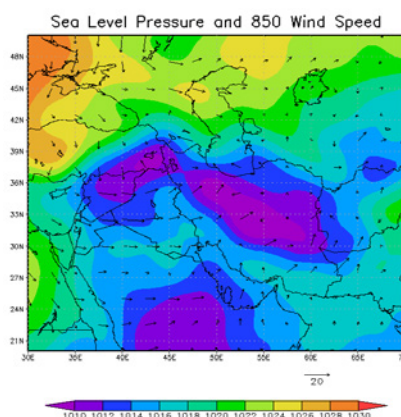
(ب)



(الف)



(د)



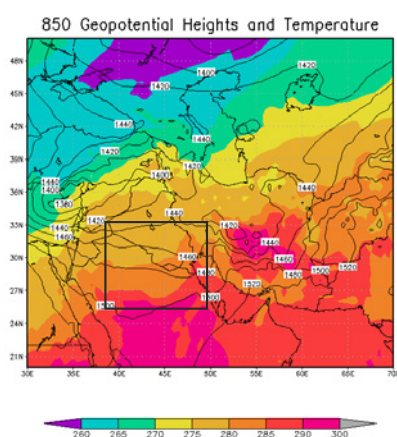
(ج)

شکل ۳. فشار سطح دریا (hPa) و باد تراز ۸۵۰ hPa (m/s) در ساعت ۱۲ UTC روزهای (الف) ۷ بهمن (ب) ۸ بهمن (ج) ۹ بهمن (د) ۱۰ بهمن سال ۱۳۹۵.

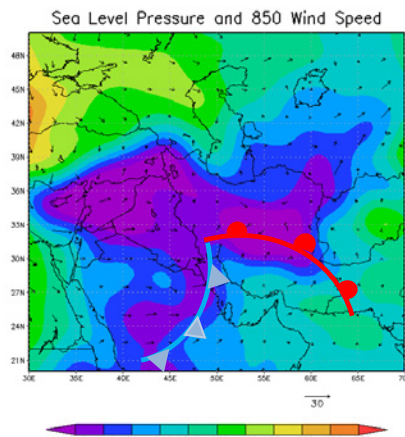
عراق نیز به داخل ایران شده است به گونه ای که حداقل دید افقی ایستگاه همدیدی اهواز در این روز گزارش شده است که به حدود ۱۰۰ متر رسیده است. در روز ۹ بهمن مراکز کم فشار تضعیف شده و سرعت باد غربی بر روی عراق به شدت افزایش نشان می دهد (شکل ۳.ج). با گذشت زمان در روز ۱۰ بهمن سامانه کم فشار به سمت شرق جابجا شده و مناطق شرقی ایران را تحت پوشش قرار داده است و افزایش سرعت باد در مناطق مرکزی ایران مشاهده می شود.

به منظور بررسی بیشتر، محل تقریبی جبهه های سرد

یک مرکز کم فشار نیز در مرکز ایران بسته شده است. جهت باد تراز $hPa 850$ بر روی خوزستان جنوب شرقی است که می تواند سبب فعال سازی کانون های داخلی گردوخاک واقع در مناطق جنوب شرقی استان خوزستان شود. در روز ۸ بهمن (شکل ۳.ب) مراکز کم فشار تقویت شده و به یکدیگر پیوسته اند و افت فشار در سراسر منطقه قابل توجه است. چرخش خطوط هم فشار و تغییر جهت باد تراز $hPa 850$ نشان دهنده وجود جبهه در بخش جنوب غربی ایران است. وزش بادهای نسبتا شدید غربی بر روی عراق در این روز سبب ورود گردوخاک از روی

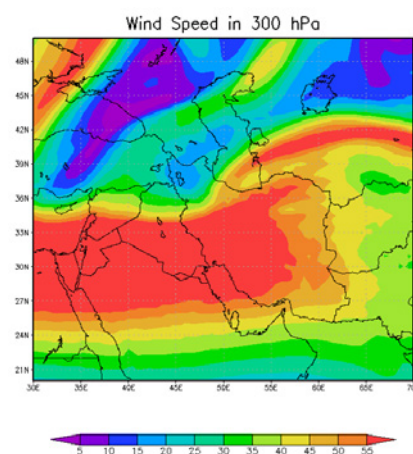


(ب)

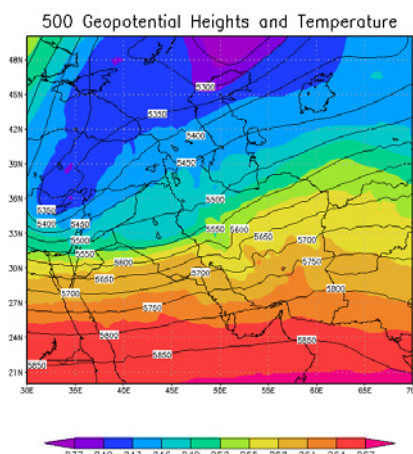


(الف)

شکل ۴. در ساعت ۱۲ UTC روز ۸ بهمن الف) فشار سطح دریا (hPa)، باد تراز $hPa 850$ و محل جبهه های سرد و گرم ب) ارتفاع ژئوپتانسیلی (m) و دما (k) در تراز $hPa 850$.



(ب)



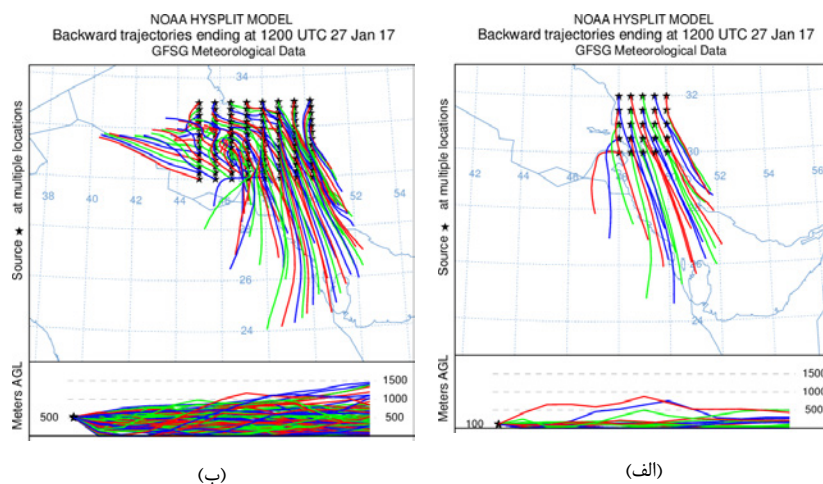
(الف)

شکل ۵. الف) ارتفاع ژئوپتانسیلی (m) و دما (k) در تراز $hPa 500$ ب) جت در تراز $hPa 300$ در روز ۸ بهمن ۱۳۹۵ ساعت ۱۲ UTC

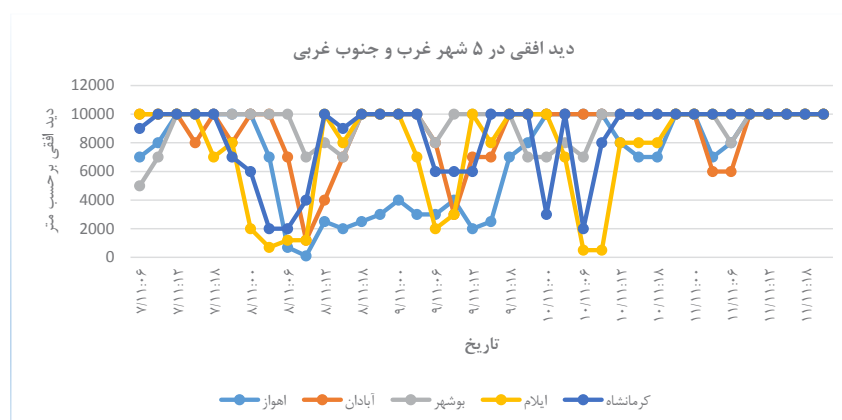
در روز ۸ بهمن در تراز $hPa 500$ (شکل ۵.الف) یک ناوه عمیق بر روی مدیترانه قرار دارد و کشورهای عراق و سوریه تحت تأثیر حرکات صعودی جلوی محور ناوه قرار دارند. حرکات صعودی در تراز میانی جو سبب می‌شود که ذرات گردو خاک برخاسته از سطح تا ارتفاعات بالاتری نفوذ کرده و در اثر وزش بادهای شدیدتر در این ترازها مسافت بیشتری را طی کنند. در تراز $hPa 300$ که در شکل ۵.ب نشان داده شده، جت جنب‌حاره‌ای تا عرض‌های جغرافیایی بالاتری نفوذ کرده و هسته جت بر روی ایران و عراق قرار گرفته است.

اجرای مدل HYSPLIT در روز ۸ بهمن ساعت UTC ۱۲ در شکل ۶، نشان می‌دهد که باد غالب تراز

و گرم در روز ۸ بهمن سال ۱۳۹۵ در شکل ۴ نشان داده شده است. وزش بادهای غرب و شمال‌غربی بر روی عراق در پشت جبهه سرد سبب شکل‌گیری گردو خاک پشت جبهه‌ای و وزش بادهای جنوب‌شرقی بر روی خوزستان سبب تشکیل گردو خاک پیش جبهه‌ای می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که در این مورد، هم گردو خاک با منشأ داخلی و هم خارجی منطقه جنوب‌غربی ایران به ویژه استان خوزستان را تحت تأثیر قرار داده است. در این روز با ورود جبهه سرد به استان خوزستان بارش اندکی در بخش‌های مختلف استان از جمله شهر اهواز دیدبانی شده است. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی و دمای تراز $hPa 850$ نیز کژقشاری را در منطقه جبهه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۶. خروجی مدل HYSPLIT به روش پسرو در ساعت UTC ۱۲ روز ۸ بهمن سال ۱۳۹۵ به مدت ۱۲ ساعت (الف) در تراز ۱۰۰ متر (ب) در تراز ۵۰۰ متر.



شکل ۷. دید افقی (m) در ۵ شهر کرمانشاه، ایلام، بوشهر، آبادان و اهواز در روزهای ۷ تا ۱۱ بهمن سال ۱۳۹۵.

جدول ۲. داده های کد هوای حاضر و جهت و سرعت باد ایستگاه همدیدی اهواز در روزهای ۸ و ۹ بهمن ماه سال ۱۳۹۵

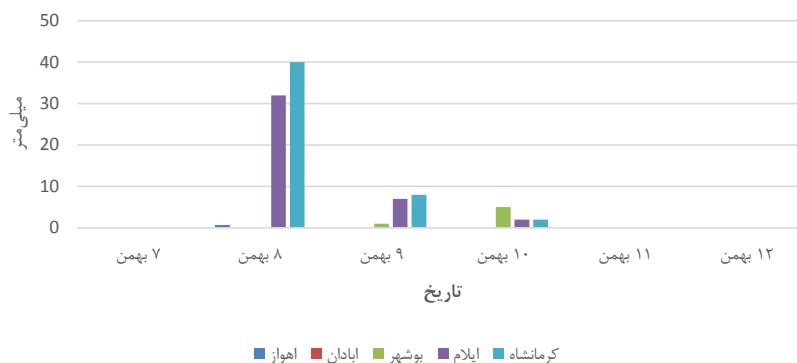
تاریخ و ساعت	کد هوای حاضر	جهت باد	سرعت باد
1395/11/08 0:00	-	150	5
1395/11/08 3:00	5	130	5
1395/11/08 6:00	25	140	9
1395/11/08 9:00	95	150	9
1395/11/08 12:00	7	180	10
1395/11/08 15:00	6	180	5
1395/11/08 18:00	6	230	1
1395/11/08 21:00	6	0	0
1395/11/09 0:00	6	260	1
1395/11/09 3:00	6	120	1
1395/11/09 6:00	10	0	0
1395/11/09 9:00	5	170	2
1395/11/09 12:00	6	270	2
1395/11/09 15:00	6	300	3
1395/11/09 18:00	5	310	3
1395/11/09 21:00	5	320	3

به منظور بررسی بخش وسیعی از مناطق غرب و جنوب غربی کشور دید افقی ۵ شهر اهواز، آبادان، بوشهر، ایلام و کرمانشاه در روزهای ۷ تا ۱۲ بهمن سال ۱۳۹۵ در شکل ۷ مورد بررسی قرار می گیرد. بیشترین میزان کاهش دید به ترتیب در شهرهای اهواز، ایلام و آبادان گزارش شده و دید افقی در شهر بوشهر بیشترین مقدار را دارد. در روز ۸ بهمن دید افقی در کلیه ایستگاه ها به کمترین مقدار خود رسیده است. در شهر اهواز کمترین میزان دید افقی مربوط به ساعت ۰۹ UTC همین روز می باشد. در روز ۱۰ بهمن دید افقی در آبادان و اهواز

۱۰۰ متر در کل استان خوزستان، باد جنوب شرقی است و به نوعی بیان می کند که در این روز بیشترین میزان گسیل گرد و خاک از جنوب شرقی استان خوزستان صورت گرفته است. همچنین اجرای مدل HYSPLIT در تراز ۵۰۰ متر به خوبی مرز جبهه سرد و تغییر جهت باد در منطقه را نشان می دهد، به گونه ای که در مناطق جنوب شرقی عراق که در پشت جبهه سرد قرار گرفتند جهت باد شمال غربی و در جنوب غربی ایران که در جلوی جبهه سرد قرار گرفته باد جنوب شرقی است. همچنین این خروجی نشان می دهد که استان های واقع در غرب و جنوب غربی ایران تحت تأثیر گرد و خاک با منشأ داخلی و خارجی هستند.

داده های کد هوای حاضر، جهت و سرعت باد تراز ۱۰ متر ایستگاه همدیدی شهر اهواز در جدول ۲ برای روزهای ۸ و ۹ بهمن سال ۱۳۹۵ به عنوان نمونه نشان داده شده است. مقادیر کد هوای حاضر بیانگر وقوع توفان و بارش باران در اوایل روز ۸ بهمن است و به تدریج از اواسط روز کدهای ۶ و ۷ گزارش شده که نشان دهنده پدیده گرد و خاک محلی و غیر محلی است. تنوع کدهای گزارش شده از این ایستگاه بیانگر وقوع پدیده های مختلف در بازه زمانی کوتاهی است. داده های جهت باد نشان می دهد که در روزهای ۷ و ۸ بهمن جهت باد بیشتر جنوب و جنوب شرقی است و با گذشت زمان از روز ۹ تا ۱۱ بهمن در بیشتر زمان ها باد غالب، باد غرب و شمال غربی است.

بارش بر حسب میلی متر



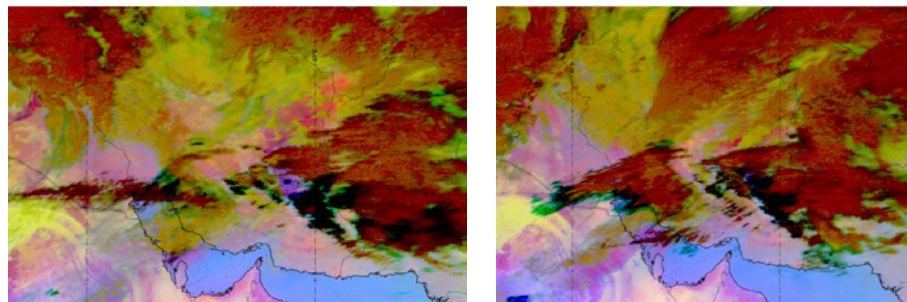
شکل ۸. بارش ۲۴ ساعته (mm) در ۵ شهر کرمانشاه، ایلام، بوشهر، آبادان و اهواز در روزهای ۷ تا ۱۲ بهمن سال ۱۳۹۵

ناچیز است ولی همین بارش اندک سبب افزایش رسانش گردوخاک موجود بر روی تجهیزات خطوط انتقال برق (مقره‌ها) و به دنبال آن قطع برق در شهر اهواز شده است. در روزهای ۱۱ و ۱۲ بهمن از هیچ یک از ایستگاه‌ها بارش گزارش نشده است.

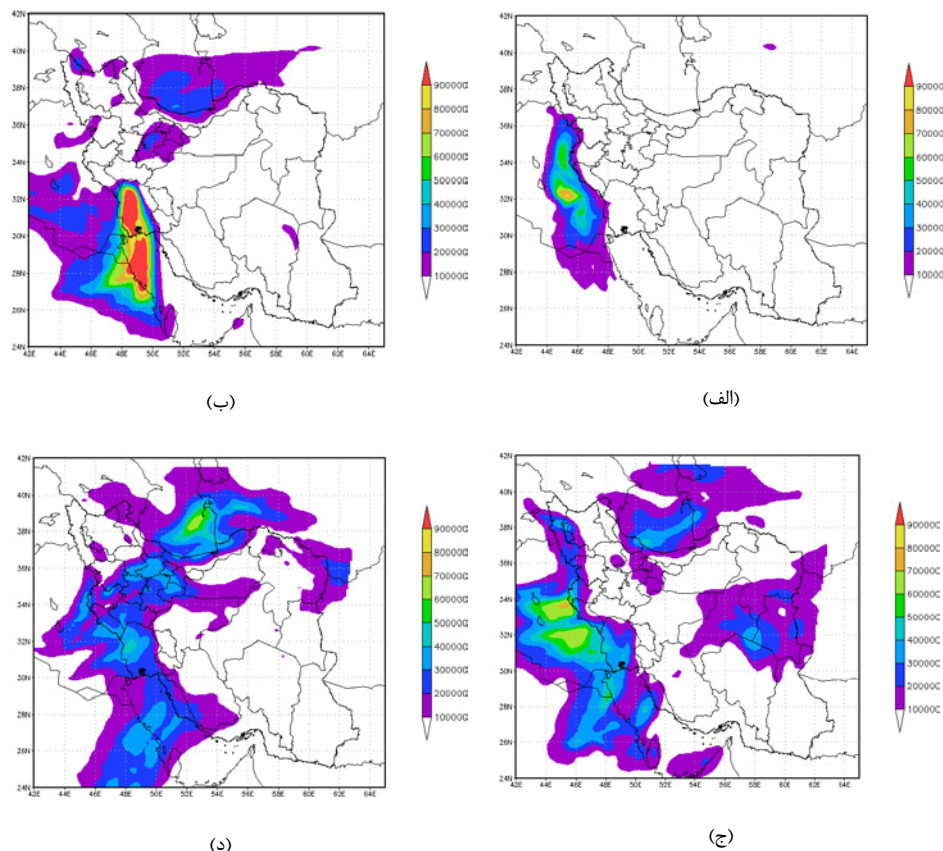
تصاویر RGB نمایش داده شده در شکل ۹ به دلیل پوشش ابر زیاد در منطقه به خوبی گردوخاک را نشان

بیشتر شده ولی در کرمانشاه و ایلام همچنان میزان دید پایین است.

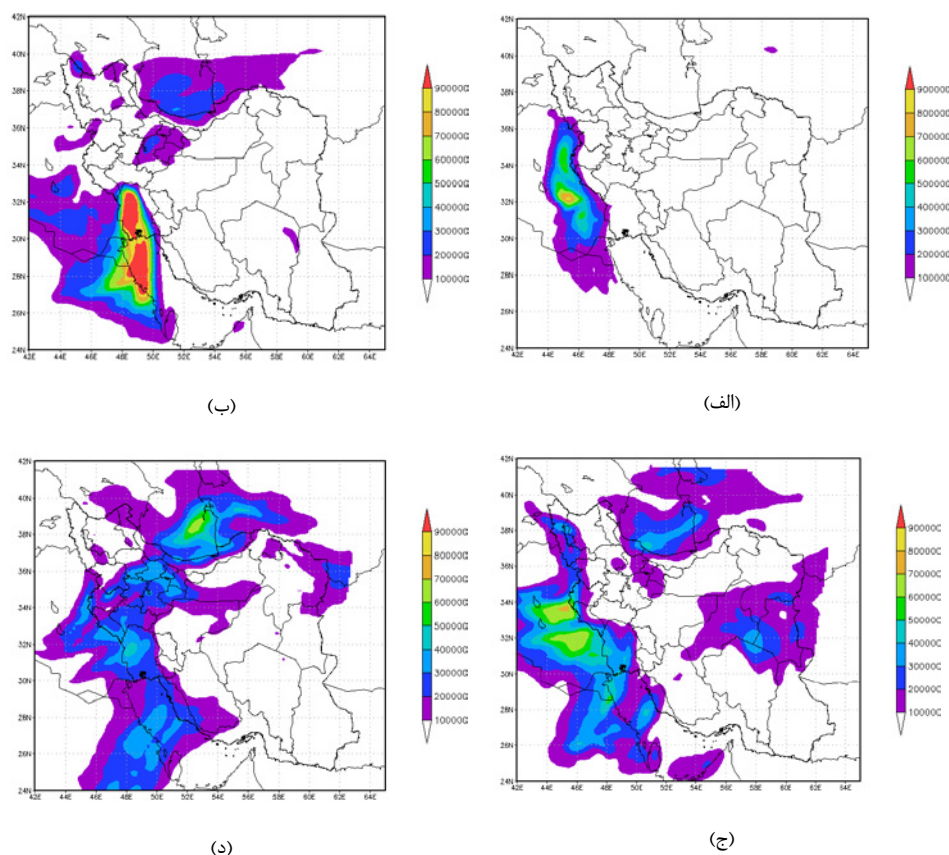
مقادیر بارش در ۵ ایستگاه واقع در غرب و جنوب غربی کشور (شکل ۸) نشان می‌دهد که در روز ۸ بهمن در ۳ شهر اهواز، ایلام و کرمانشاه بارش دیدبانی شده که مقدار آن در کرمانشاه و ایلام قابل توجه است. میزان بارش اهواز در این روز برابر ۰/۶۱ mm بوده که اگرچه بسیار



شکل ۹. تصاویر RGB ماهواره MSG در (الف) روز ۸ بهمن ساعت ۱۸ UTC (ب) روز ۹ بهمن ساعت ۰۰ UTC



شکل ۱۰. بار گردوخاک ($\frac{\mu g}{m^3}$) در ساعت ۱۲ UTC روزهای (الف) ۷ بهمن (ب) ۸ بهمن (ج) ۹ بهمن (د) ۱۰ بهمن سال ۱۳۹۵



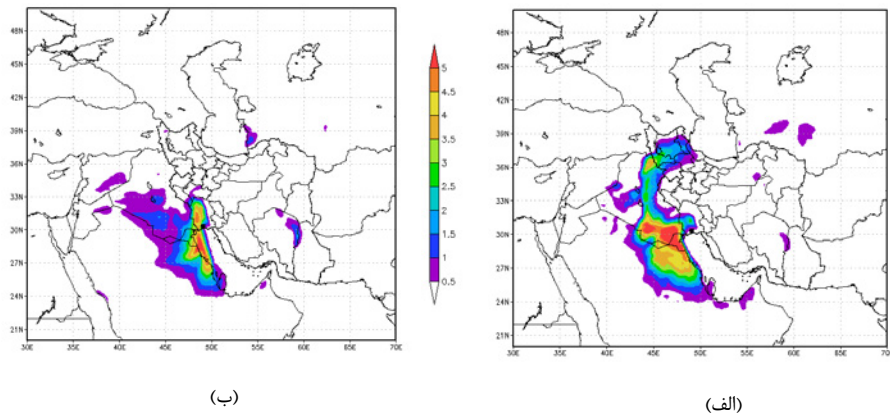
شکل ۱۱. نهشت گرانشی ذرات گردو خاک $\left(\frac{\mu g}{m^3 s}\right)$ در (الف) ساعت ۰۰ UTC (ب) ساعت ۱۲ UTC روز ۸ بهمن سال ۱۳۹۵

خوزستان افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد که می‌توان نتیجه گرفت علاوه بر ورود بخشی از توده گردو خاک از کشور عراق، گسیل گردو خاک از داخل استان نیز سبب این افزایش شده است. در روز ۹ بهمن (شکل ۱۰ ج) میزان گردو خاک بر روی خوزستان کاهش یافته ولی گردو خاک بخش‌های بیشتری از مناطق مرزی ایران واقع در غرب و شمال غربی از جمله استان های ایلام، کرمانشاه، کردستان و حتی آذربایجان غربی را تحت تأثیر قرار داده است. در روز ۱۰ بهمن توده گردو خاک در مناطق مرکزی و جنوبی کشور نیز مشاهده می‌شود (شکل ۱۰ د).

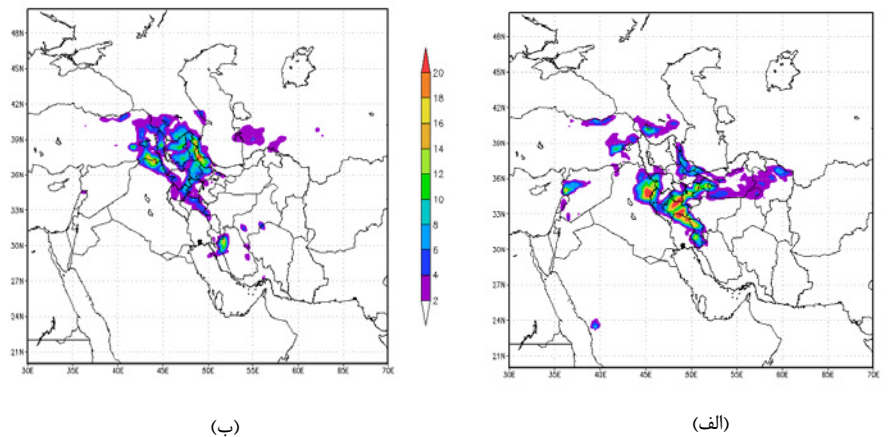
شکل ۱۱ مقادیر نهشت گردو خاک در روز ۸ بهمن ماه سال ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. در روز ۸ بهمن ساعت ۱۲ UTC بر روی مناطق غرب و جنوب غربی استان خوزستان مقادیر نهشت گردو خاک قابل توجه است،

نمی‌دهد ولی در روز ۸ بهمن توده گردو خاک در شمال استان خوزستان و در استان ایلام مشاهده می‌شود. در روز ۹ بهمن در مناطق بیشتری از استان خوزستان و همچنین جنوب کرمانشاه که تحت پوشش ابر قرار ندارند گردو خاک قابل مشاهده است. به دلیل پوشش ابر نمی‌توان نتیجه‌ای مشخص از مقایسه تصاویر ماهواره با خروجی مدل ارائه کرد، ولی به طور کلی می‌توان بیان کرد که در مناطقی که ابرناکی وجود ندارد خروجی مدل در توافق با تصاویر ماهواره‌ای است.

خروجی مدل WRF-Chem برای بار گردو خاک در روزهای ۷ تا ۱۰ بهمن در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در روز ۷ بهمن بیشترین میزان گردو خاک بر روی مناطق شرق و جنوب شرقی عراق مشاهده شده است. در روز ۸ بهمن (شکل ۱۰ ب) مقادیر بار گردو خاک بر روی استان



شکل ۱۲. غلظت ذرات معلق PM_{10} خروجی مدل و داده‌های مشاهداتی در چهار شهر شادگان، بهبهان، گتوند و دزفول در روزهای ۷ تا ۱۰ بهمن ۱۳۹۵

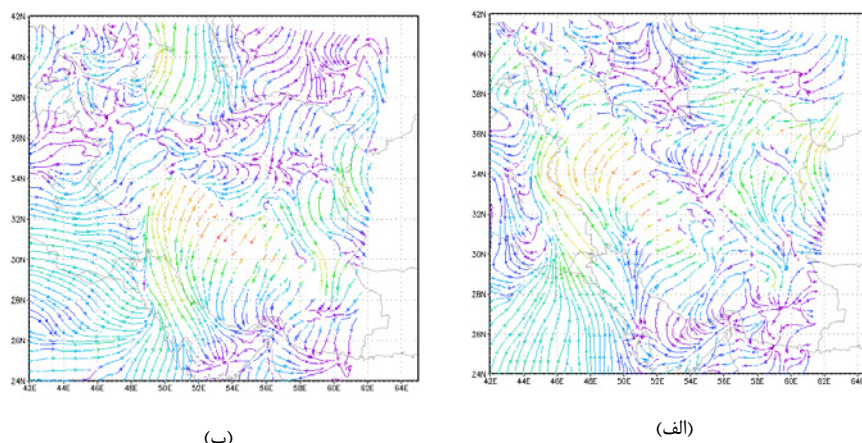


شکل ۱۳. بارش ۶ ساعته خروجی مدل در روز ۸ بهمن ساعت الف) UTC۶ ب) UTC۱۸.

امری پیچیده است و این مقادیر صرفاً نشان دهنده میزان نهشت گردوخاک در این روز می‌باشد.

مقایسه غلظت PM_{10} خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی در چهار شهر شادگان، بهبهان، گتوند و دزفول در شکل ۱۲ نشان داده شده است. مدل در شهر شادگان واقع در جنوب استان خوزستان نسبت به سایر شهرها بهتر عمل کرده و مقدار بیشینه غلظت به مقدار مشاهداتی نزدیک است، در شهر گتوند مقدار بیشینه گردوخاک بیشتر برآورد شده و در دو شهر بهبهان و دزفول مقادیر بیشینه کمتر از مقادیر مشاهداتی بدست آمده است. در شهر بهبهان در روز ۸ بهمن ساعت UTC۰۹ افزایش شدیدی در غلظت PM_{10} مشاهده

همچنین در استان‌های شمال غربی نیز نهشت ذرات نشان داده شده است. در ساعت UTC۱۲ نهشت گردوخاک در سراسر خوزستان افزایش نشان می‌دهد ولی در مناطق شمال غربی کشور نهشت گردوخاک مشاهده نمی‌شود. لازم به ذکر است که هر چه غلظت ذرات گردوخاک بیشتر باشد میزان نهشت آن‌ها نیز افزایش می‌یابد ولی نمی‌توان مقادیر گردوخاک بر روی سطوح مختلف از جمله خطوط انتقال برق را صرفاً با استفاده از این کمیت برآورد کرد زیرا با گذشت زمان و در رخداد‌های مختلف گردوخاک در هر منطقه، این مقادیر روی هم انباشته می‌شوند و همچنین وزش بادهای شدید و بارش باران نیز از عوامل کاهنده آن است. محاسبه میزان دقیق نهشت گردوخاک



شکل ۱۴. خطوط جریان تراز ۱۰ متر در ساعت ۱۲ UTC روز الف) ۷ بهمن ب) ۸ بهمن (رنگ ها نشان دهنده اندازه سرعت باد می باشند و رنگ قرمز بیشترین مقدار را نشان می دهد)

جنوب شرقی در مناطق جنوب غربی ایران و همچنین تغییر جهت باد ناشی از وجود جبهه در منطقه حتی در تراز ۱۰ متر نیز به خوبی قابل مشاهده است. در روز ۸ بهمن نیز محل جبهه های سرد و گرم با تغییر جهت جریان قابل شناسایی است و جبهه ها به سمت شرق جابجا شده اند. باد غالب در سراسر کشور عراق باد غربی است که سبب ورود گرد و خاک به مرزهای غربی ایران می شود، در ادامه وزش باد جنوب غربی در این مناطق ذرات گرد و خاک را به شمال غربی ایران منتقل می کند. در استان خوزستان نیز وزش بادهای جنوبی، گرد و خاک برخاسته از ایران را به مناطق مرکزی انتقال می دهد. جهت جریان در این روزها با داده های جهت باد دیدبانی شده در ایستگاه همدیدی اهواز که در جدول ۲ نشان داده شده توافق قابل قبولی دارد.

جمع بندی

در روزهای ۷ تا ۱۰ بهمن ماه سال ۱۳۹۵ وجود گرد و خاک سبب کاهش دید شدید در مناطق غرب و جنوب غربی ایران شده است. در روز ۸ بهمن بارش بسیار اندک باران در شهر اهواز سبب تر شدن گرد و خاک موجود بر روی خطوط انتقال برق شده و با افزایش رسانش مقرر ها، قطع برق و به دنبال آن آب را در این شهر در پی داشت که مشکلات عمده ای را برای ساکنان

شده است که مدل قادر به شبیه سازی آن نبوده ولی افزایش غلظت در ساعت ۲۱ UTC را به خوبی نشان داده است. در شهر گتوند روند تغییرات غلظت گرد و خاک در مدل و مشاهدات دارای توافق نسبی است. در شهر دزفول مدل بیشینه غلظت گرد و خاک را حدود ۶ ساعت زودتر از مقادیر مشاهداتی نشان داده است. به طور کلی می توان نتیجه گیری کرد که مدل در شبیه سازی غلظت ذرات PM_{10} عملکرد قابل قبولی دارد، که البته با تغییر طرحواره های مختلف بوئیه طرحواره گسیل گرد و خاک امکان حصول نتیجه بهتر وجود دارد.

در روز ۸ بهمن ساعت ۶ UTC (شکل ۱۳ الف) مدل، بارش بر روی کرمانشاه و ایلام را به خوبی شبیه سازی کرده است همچنین بارش بر روی مناطق شمال شرقی خوزستان و بارش اندک بر روی مناطق مرکزی این استان از جمله شهر اهواز را نشان داده است. در ساعت ۱۸ UTC همین روز (شکل ۱۳ ب) بارش باران در مناطق غرب و شمال غربی ایران نشان داده شده و در استان خوزستان بارشی مشاهده نشده است، همچنین مقدار اندکی بارش در استان های فارس و بوشهر نشان داده شده که با گزارش بارش در ایستگاه همدیدی شهر بوشهر در توافق است.

شکل ۱۴ خطوط جریان در روزهای ۷ و ۸ بهمن ماه سال ۱۳۹۵ را نمایش می دهد. در روز ۷ بهمن وزش بادهای شمال غربی بر روی مناطق مرکزی عراق و بادهای

سوم، شماره ۱، ۹۱-۱۰۲.

خورشیددوست علی محمد، محمدی غلام حسن، حسینی صدر عاطفه، جوان خدیجه، جمالی ابوالفضل، ۱۳۹۲، تحلیل همدید عوامل موثر در فراوانی روزهای گردوغباری غرب کشور، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۱۷، شماره ۴۶، ۴۷-۶۶

رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ نوری، فائزه. ۱۳۹۵. بررسی پدیده گرد و غبار در غرب ایران از دیدگاه هواشناختی (مطالعه بلندمدت و کوتاه مدت). *مجله علمی و ترویجی نیوار*. شماره ۹۲ و ۹۳.

محمدی، فهیمه؛ کمالی، سمیه؛ اسکندری، مریم. ۱۳۹۴. ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT. *مجله جغرافیا و مخاطرات طبیعی*. شماره ۱۶.

میهن پرست مجتبی، رنجبر سعادت آبادی عباس، امیرحسین مشکواتی، ۱۳۹۵، بررسی برخی شرایط همدیدی هنگام وقوع پدیده گرد و غبار ۳ جون ۲۰۰۸ در نیمه غربی کشور، *مجله علمی و ترویجی نیوار*، شماره ۹۲ و ۹۳.

Chou, M. D., and Suarez, M. J., 1994. An efficient thermal infrared radiation parameterization for use in general circulation models. *NASA Tech. Memo*, 104606(3), p.85.

Grell, G.A., Peckham, S.E., Schmitz, R., McKeen, S.A., Frost, G., Skamarock, W.C. and Eder, B., 2005. Fully coupled "online" chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*, 39(37), pp.6957-6975.

Grell, G., Freitas, S.R., Stuefer, M. and Fast, J., 2011. Inclusion of biomass burning in WRF-Chem: impact of wildfires on weather forecasts. *Atmospheric Chemistry & Physics*, 11(11).

ast, J. D.; Gustafson, W. I.; Easter, R. C.; Zaveri, R. A.; Barnard, J. C.; Chapman, E. G. and Peckham, S. E. 2006. Evolution of ozone, particulates, and aerosol direct radiative forcing in the vicinity of Houston using a fully coupled meteorology-chemistry-aerosol model. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 111(D21).

Hernanz, R., Jose, A., Martin, C., Jose, J., Gogeaescoechea, M. and Belver, Z., 2006, April. Insulator pollution in transmission lines. In *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPOQ)*.

Hyun C, Dong WS, Wonnyon K, Doh SJ, Lee SH,

شهر اهواز ایجاد کرد. بررسی‌های همدیدی نشان می‌دهد که در روز ۸ بهمن وجود جبهه سرد در جنوب شرقی عراق سبب وزش بادهای شدید در این منطقه شده و بادهای جنوب شرقی استان خوزستان که در جلوی جبهه واقع شده سبب فعال سازی کانون‌های داخلی واقع در جنوب خوزستان شده است. در تراز ۸۵۰ hPa کثفشاری در منطقه جبهه به خوبی قابل ملاحظه است و در تراز ۵۰۰ hPa نیز ناوه عمیقی در منطقه وجود دارد. اجرای مدل HYSPLIT به روش پسرو در منطقه خوزستان در نزدیکی سطح، جریان باد جنوب شرقی را نشان می‌دهد. همچنین اجرای این مدل در تراز ۵۰۰ متر تغییر جهت باد در منطقه جبهه را به خوبی شناسایی کرده است.

شبیه سازی این رخداد گردوخاک با مدل WRF-Chem با طرحواره گسیل GOCART نشان داد که مدل، گسیل گردوخاک از عراق و جنوب خوزستان را نشان داده و بار گردوخاک خروجی مدل با تصاویر ماهواره‌ای در توافق است. البته به دلیل وجود ابرناکی در منطقه، توده گردوخاک به خوبی قابل ردیابی نیست. با مقایسه کمی غلظت PM_{10} خروجی مدل با مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل در شبیه‌سازی غلظت ذرات PM_{10} عملکرد قابل قبولی دارد و روند تغییرات را به درستی نشان داده است. البته با توجه به توپوگرافی پیچیده استان خوزستان، وجود خطا در شبیه‌سازی تا حدودی قابل انتظار است. در زمینه شبیه‌سازی کمیت‌های جوی می‌توان گفت که مدل عملکرد بهتری در شبیه سازی جهت باد و بارش دارد و الگوی بارش و میزان آن در شهرهای مختلف را به خوبی نشان داده است. همچنین وجود جبهه و تغییر جهت ناگهانی باد توسط مدل به خوبی شناسایی شده است.

منابع

حسین حمزه نسیم، فتاحی ابراهیم، ذوالجودی مجتبی، رنجبر سعادت آبادی عباس، پروین غفاریان، ۱۳۹۵، تحلیل همدیدی و دینامیکی پدیده گرد و غبار و شبیه سازی آن در جنوب غرب ایران در تابستان ۱۳۸۴، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره

- large eddy simulation data. *Boundary-layer meteorology*, 107(2), 401-427.
- Sama, M., Neamah, M. and Saadi, A., 2015, Analyzing the synoptic patterns associated to dust events over west Asia during summer months - Case Studies, *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, PP 53-66.
- SCHÜTZ, L., JAENICKE, R. and PIETREK, H., 1981. Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean. *Geological Society of America Special Papers*, 186, pp.87-100.
- Shao, Y.; Yang, Y.; Wang, J.; Song, Z.; Leslie, L. M.; Dong, C. and Chun, Y. 2003. Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction and validation. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 108(D22).
- Noh M.2011, Asian dust storm particles induce a broad toxicological transcriptional program in human epidermal keratinocytes. *Toxicol Lett*; 200(1-2):92-9
- Miri, Abbas, et al.2007, "Dust storms impacts on air pollution and public health under hot and dry climate." *Int. Energy Environ* ۱۰۵-۱۰۱: ۲,۱
- Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J., and Clough, S. A., 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a Validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14), 16663-16682.
- Noh, Y., Cheon, W.G., Hong, S. Y., and Raasch, S., 2003. Improvement of the K-profile model for the planetary boundary later based on

Synoptic analysis and simulation of dust storm in Bahman 1395 in Khuzestan province

Sara Karami¹, Nasim Hossein Hamzeh¹, Abbas Ranjbar¹, Masoomeh Mosavi²

1- Department of Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

2- Department of Environmental Study, University of Tehran, Karaj, Alborz

*Corresponding Author Email: nasim_hh@yahoo.com

Received: 30 April 2018, accepted: 18 August 2018

ABSTRACT

Dust storms damage peoples' lives and cause many financial problems every year. Dust storm is one of the most important natural phenomena and a kind of natural disasters that influence many parts of the world. Dust storms cause many problems in different regions of Iran, in particular Khuzestan province every year. This province is affected by internal and external dust sources because of some arid and semi-arid areas inside and outside of Khuzestan province, including Iraq, Syria and Saudi Arabia. Therefore, many researches have been conducted to analyse and simulate dust storms.

A severe dust storm happened in the west and south west of Iran in 7-10 Bahman 1395 (26-29 January 2017). Dust particles were drenched on the power transmission lines in Ahwaz city because of low precipitation on the 8th Bahman, resulting electricity cut off in the city. This event made many problems for residents of Ahwaz city.

Synoptic analysis showed that, the existence of a cold front in the southeast of Iraq caused severe winds in the area on the 8th of Bahman. In Khuzestan province, ahead of the cold front, the south easterly winds triggered the activation of local dust hotspots in the south of this province. The baroclinicity in the front area was quite apparent at the 850hPa level, and there was a deep height trough at the 500hPa. The output of the HYSPLIT model in Khuzestan region near the surface showed the south-easterly wind flow. Also, the change in wind direction in the front area was clearly seen in the model output at 500m level. Present weather codes reported from Ahvaz synoptic station showed local and non-local dust storm and precipitation altogether. The visibility reduced under 100 meters in Ahvaz on the 8th of Bahman 1395 (January 27, 2017).

The WRF-Chem model with the GOCART emission scheme was implemented for simulation of the dust event. The model outputs showed that the emission of dust particles from Iraq and the south of Khuzestan was correctly simulated, and they were in agreement with the satellite images; although the dust mass was not detected well, due to cloudiness in the region. The PM₁₀ concentration of the model output and the measured values at the air pollution monitoring stations showed that the model has a satisfactory performance in the estimation of the PM₁₀ concentration. The model simulated the dust concentration trend correctly, however, some errors in the output were seen. These errors were expected due to the complex topography of Khuzestan province. The model had a better performance in simulation of wind direction and rainfall. The model also identified the existence of the front and the sudden change of wind direction.

Keywords: Dust storm, Ahvaz, cold front, WRF-Chem model, PM₁₀ concentration

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Karami, S.; Hossein Hamzeh, N.; Ranjbar, A.; Mosavi, M., (2018). Synoptic analysis and simulation of dust storm in Bahman 1395 in Khuzestan province. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(2): 177-189.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

